

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-149210

(43)公開日 平成10年(1998)6月2日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>

G 0 5 B 19/404

B 2 3 Q 15/00

B 2 5 J 9/10

識別記号

F I

G 0 5 B 19/18

B 2 3 Q 15/00

B 2 5 J 9/10

J

C

A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 7 頁)

(21)出願番号

特願平8-309782

(22)出願日

平成8年(1996)11月20日

(71)出願人 000006622

株式会社安川電機

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

(72)発明者 山本 暁洋

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72)発明者 梅田 信弘

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

(72)発明者 小黒 龍一

福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号

株式会社安川電機内

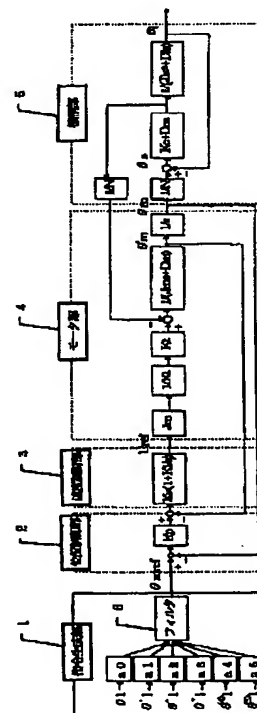
(74)代理人 弁理士 小堀 益

(54)【発明の名称】 位置決め制御系の指令作成方法

(57)【要約】

【課題】 産業用ロボットなど剛性の低い制御対象の位置決め制御系においても、負荷軸先端の追従遅れを解消するとともに、負荷軸先端に生じる振動を抑制する位置決め制御系の指令作成方法を提供する。

【解決手段】 制御系の出力  $\theta_1$  から位置指令  $\theta_{mref}$  への関係を表す逆伝達関数の分母多項式が定数の場合、各軸の負荷軸先端の参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出するために、指令生成部 1 において参照位置関数  $\theta_{lref}$  を前記逆伝達関数の分子多項式の次数より少なくとも一次は高次で、かつ位置指令  $\theta_{mref}$  を構成する前記参照位置関数  $\theta_{lref}$  とその導関数が定数項を持たないように設定する位置決め制御系の指令作成方法。



BEST AVAILABLE COPY

(2)

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 教示したある点から次の教示点へ位置の補間を行い、各軸のサーボモータの制御周期毎の位置指令  $\theta_{mref}$  を作成する位置決め制御系の指令作成方法において、

制御系の出力  $\theta_1$  から位置指令  $\theta_{mref}$  へ の関係を表す逆伝達関数の分母多項式が定数の場合、各軸の負荷軸先端の参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出するために、指令生成部において参照位置関数  $\theta_{lref}$  を前記逆伝達関数の分子多項式の次数より少なくとも一次は高次で、かつ位置指令  $\theta_{mref}$  を構成する前記参照位置関数  $\theta_{lref}$  とその導関数が定数項を持たないように設定することを特徴とする位置決め制御系の指令作成方法。

【請求項 2】 教示したある点から次の教示点へ位置の補間を行い、各軸のサーボモータの制御周期毎の位置指令  $\theta_{mref}$  を作成する位置決め制御系の指令作成方法において、

制御系の出力  $\theta_1$  から位置指令  $\theta_{mref}$  へ の関係を表す逆伝達関数の分母多項式が 1 次以上の多項式の場合において、各軸の負荷軸先端の参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出するために、指令生成部において前記参照位置関数  $\theta_{lref}$  を逆伝達関数の分子多項式の次数より少なくとも 1 次は高次に設定し、前記逆伝達関数の分母多項式に相当する伝達関数のフィルタを設けることを特徴とする位置決め制御系の指令作成方法。

【請求項 3】 前記位置決め制御系が、産業用ロボット又は工作機械である請求項 1 又は 2 記載の位置決め制御系の指令作成方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、産業用ロボットや工作機械等の位置決め制御系の制御方法において、サーボの遅れや振動による精度の劣化を極めて少なくする指令作成方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 産業用ロボットや工作機械の位置決め制御を行う場合、通常は、正の一定加速度値を持つ加速区間、加速度が 0 の一定速度の区間、および負の一定加速度値を持つ減速区間で構成した台形状の速度指令を制御装置に与えていた。ショートピッチ作業のような短い距離の位置決め動作においては、図 5 に示すように一定速度区間のない三角状の速度指令となる。このように速度の加減速を 1 次関数で表した場合の加速度指令の波形は矩形波状となるが、このような指令に対する応答には図 6 に示すように追従遅れが生じる。応答の追従遅れは図 7 に示すように負荷軸先端の軌道ずれの原因となる。

【0003】 応答追従遅れを低減させるためには、図 10 に示すように、フィードフォワード制御部 15 におい

て、位置指令を 1 階微分したフィードフォワード速度指令と 2 階微分したフィードフォワード加速度指令にゲインを乗じたものを加え合わせるフィードフォワード制御を行うが、この場合の応答には図 8 に示すようにオーバーシュートを伴うという問題がある。このオーバーシュートは図 9 に示すように負荷軸先端で生じる振動の原因の一つとなる。作業位置での負荷軸先端の振動を減少させるための工夫としては、指令をローパスフィルタに入力する、あるいは移動平均を求める方法がある。しかし、このような加減速処理後にローパスフィルタや移動平均を用いた方法では、フィルタによる遅延効果やサーボ系の応答遅れにより負荷軸先端の追従遅れが生じるという問題点がある。

【0004】 なお、図 10 において、11 は位置制御部、12 は速度制御部、13 はモータ部、14 は機構部、15 はフィードフォワード制御部であり、 $K_p$  は位置ループゲイン、 $K_{vf}$  は速度フィードフォワードゲイン、 $K_{af}$  は加速度フィードフォワードゲイン、 $K_v$  は速度ループゲイン、 $J_m$  はモータの慣性モーメント、 $K_t$  は積分ゲイン、 $N$  は減速比、 $K_c$  は減速機のバネ定数、 $J_l$  は負荷側慣性モーメント、 $D_m$  はモータ粘性係数、 $D_c$  は減速機粘性係数、 $D_l$  は負荷側粘性係数である。また、 $\theta_{mref}$  は位置指令、 $u_{ref}$  は加速度指令、 $\theta_m$  はモータの回転角、 $\theta'_m$  はモータの回転角速度、 $\theta_s$  はモータ軸と負荷の間のねじり角、 $\theta_l$  は負荷の回転角である。このように、加速度指令が矩形波で表される場合、負荷軸先端の振動抑制と応答追従性は相反する要求となっている。これらの問題を解決するために、特開平 5-143106 号公報に開示されたような制御対象の逆伝達関数を考慮して参照位置関数  $\theta_{lref}$  が制御量  $\theta_1$  に一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出する方法が提案されている。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 ところが、上記の特開平 5-143106 号公報に開示された方法において、参照位置関数  $\theta_{lref}$  の次数を制御系の出力  $\theta_1$  から位置指令  $\theta_{mref}$  の関係を表す逆伝達関数の分子多項式の次数より低く設定した場合、位置指令に  $\theta_{mref}$  を構成する参照位置関数  $\theta_{lref}$  とその導関数の中にその値が 0 となる関数が出てくるために参照位置関数  $\theta_{lref}$  が制御量に一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出できなくなる。また、参照位置関数  $\theta_{lref}$  を制御系全体の伝達関数の分母多項式より高次に設定しても、位置指令に  $\theta_{mref}$  を構成する参照位置関数  $\theta_{lref}$  とその導関数の中に定数項をもつ関数が存在する場合、位置指令  $\theta_{mref}$  にステップ関数を含むため、産業用ロボットのような剛性の低い制御対象においては負荷軸先端の振動を生じさせやすいという問題がある。そこで、本発明が解決しようとする課題は、産業用ロボットなど剛性の低い制御対象の位置決め制御系においても、負荷軸先端の追従遅れを解消すると

(3)

3

ともに、負荷軸先端に生じる振動を抑制する位置決め制御系の指令作成方法を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、本発明は、教示したある点から次の教示点へ位置の補間を行い、各軸のサーボモータの制御周期毎の位置指令  $\theta_{mref}$  を作成する位置決め制御系の指令作成方法において、制御系の出力  $\theta_1$  から位置指令  $\theta_{mref}$  への関係を表す逆伝達関数の分母多項式が定数の場合、各軸の負荷軸先端の参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出するために、指令生成部において参照位置関数  $\theta_{lref}$  を前記逆伝達関数の分子多項式の次数より少なくとも一次は高次で、かつ位置指令  $\theta_{mref}$  を構成する前記参照位置関数  $\theta_{lref}$  とその導関数が定数項を持たないように設定する。また、逆伝達関数の分母多項式が1次以上の多項式の場合、各軸の負荷軸先端の参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出するために、指令生成部において前記参照位置関数  $\theta_{lref}$  を逆伝達関数の分子多項式の次数より少なくとも1次は高次に設定し、逆伝達関数の分母多項式に相当する伝達関数のフィルタを設ける。このようにすることで、参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制

4

\* 御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出することができる。

【0007】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施例を、図1に示す位置制御系を参照しながら説明する。図1において、1は指令生成部、2は位置制御部、3は速度制御部、4はモータ部、5は機構部である。 $K_p$ は位置ループゲイン、 $K_v$ は速度ループゲイン、 $J_m$ はモータの慣性モーメント、 $K_t$ は積分ゲイン、 $N$ は減速比、 $K_c$ は減速機のパネ定数、 $J_l$ は負荷側慣性モーメント、 $D_m$ はモータ粘性係数、 $D_c$ は減速機粘性係数、 $D_l$ は負荷側粘性係数である。また、 $\theta_{mref}$ は位置指令、 $u_{ref}$ は加速度指令、 $\theta_m$ はモータの回転角、 $\theta'_m$ はモータの回転角速度、 $\theta_s$ はモータ軸と負荷の間のねじり角、 $\theta_l$ は負荷の回転角である。指令生成部1において、位置指令  $\theta_{mref}$  は、負荷の参照回転角  $\theta_{lref}$  からその5階微分値までのそれぞれに係数  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  をかけて加算し、それらにフィルタ6を通して生成される。

【0008】図1における制御対象への操作量  $u_{ref}$  は、数1のようになる。

【数1】

$$u_{ref} = Kv \{ Kp(\theta_{mref} - \theta_m) - \theta'_m \} + Ki \int Kv \{ Kp(\theta_{mref} - \theta_m) - \theta'_m \} dt$$

このとき、図1の制御系において、参照位置関数  $\theta_{lref}$  ※

が制御出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  は図1

【数2】

と数1より算出でき、数2のように逆伝達関数で表せ ※

$$\theta_{mref} = \frac{a_3 s^3 + a_4 s^4 + a_5 s^5 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{b_2 s^2 + b_1 s + b_0} \theta_{lref}$$

$$a_0 = N^2 KpKvKiJmKc$$

$$a_1 = N^2 KwJm(KiKc + KpKi(Dc + Dl) + KpKc)$$

$$a_2 = N^2 Kv(KiJm(Dc + Dl) + KpKiJmJl + JmKc + KpJmKc(Dc + Dl)) + N^2 DmKc + KcDl$$

$$a_3 = N^2 (KvKiJmJl + JmKc + Dm(Dc + Dl) + KwJm(Dc + Dl) + KpKwJmJl) + KcDcJmDl$$

$$a_4 = N^2 (KwJmJl + JmDm + Jm(Dc + Dl)) + JmDc$$

$$a_5 = N^2 JmJl$$

$$b_0 = NKpKvKiJmKc$$

$$b_1 = NKpKwJm(Kc + KiDc)$$

$$b_2 = NKpKwJmDc$$

数2より、図1の制御系において位置指令  $\theta_{mref}$  を生成するためには、逆伝達関数の分子多項式の次数が5次であるので参照位置関数  $\theta_{lref}$  を6次以上の多項式に設定し、数2の分母多項式に相当する2次のフィルタ6を設定する。

【0009】ここではショートピッチ動作のような一定★

$$\theta_{lref}''(t) = \alpha \cdot t^4 (t - To)^4$$

$$0 \leq t \leq To$$

$$\theta_{lref}''(t) = -\alpha \cdot (t - To)^4 \cdot (t - 2To)^4$$

$$To < t \leq 2To$$

【数4】

50

40 ★速度時のない場合を例として挙げる。図2および、数3のような8次式で表される加速度関数  $\theta_{lref}''$  を考えたとき、参照位置関数  $\theta_{lref}$  は数4、その他の参照位置関数  $\theta_{lref}$  の導関数は数5のようになる。

【数3】

(4)

$$\theta_{lref}(t) = \alpha \cdot \left( \frac{t^{10}}{90} - \frac{To \cdot t^9}{9} + \frac{3 \cdot To^2 \cdot t^8}{7} - \frac{16 \cdot To \cdot t^7}{21} + \frac{8 \cdot To^4 \cdot t^6}{15} \right) \quad 0 \leq t \leq To$$

$$\theta_{lref}(t) = \alpha \cdot \left( \frac{(t-To)^{10}}{90} - \frac{To \cdot (t-To)^9}{9} + \frac{3 \cdot To^2 \cdot (t-To)^8}{7} - \frac{16 \cdot To \cdot (t-To)^7}{21} + \frac{8 \cdot To^4 \cdot (t-To)^6}{15} \right) \quad To < t \leq 2To$$

【数 5】

$$\theta'_{lref}(t) = \alpha \cdot \left( \frac{t^9}{9} - To \cdot t^8 + \frac{24 \cdot To^2 \cdot t^7}{7} - \frac{16 \cdot To \cdot t^6}{3} + \frac{16 \cdot To^4 \cdot t^5}{5} \right) \quad 0 \leq t \leq To$$

$$\theta'_{lref}(t) = \alpha \cdot \left( \frac{(t-To)^9}{9} - To \cdot (t-To)^8 + \frac{24 \cdot To^2 \cdot (t-To)^7}{7} - \frac{16 \cdot To \cdot (t-To)^6}{3} + \frac{16 \cdot To^4 \cdot (t-To)^5}{5} \right) \quad To < t \leq 2To$$

$$\theta''_{lref}(t) = \alpha \cdot (8 \cdot t^8 - 56 \cdot To \cdot t^7 + 144 \cdot To^2 \cdot t^6 - 160 \cdot To^3 \cdot t^5 + 64 \cdot To^4 \cdot t^4) \quad 0 \leq t \leq To$$

$$\theta''_{lref}(t) = \alpha \cdot (8 \cdot (t-To)^8 - 56 \cdot To \cdot (t-To)^7 + 144 \cdot To^2 \cdot (t-To)^6 - 160 \cdot To^3 \cdot (t-To)^5 + 64 \cdot To^4 \cdot (t-To)^4) \quad To < t \leq 2To$$

$$\theta^{(4)}_{lref}(t) = \alpha \cdot (56t^6 - 336 \cdot To \cdot t^5 + 720 \cdot To^2 \cdot t^4 - 640 \cdot To^3 \cdot t^3 + 192 \cdot To^4 \cdot t^2) \quad 0 \leq t \leq To$$

$$\theta^{(4)}_{lref}(t) = \alpha \cdot (56(t-To)^6 - 336 \cdot To \cdot (t-To)^5 + 720 \cdot To^2 \cdot (t-To)^4 - 640 \cdot To^3 \cdot (t-To)^3 + 192 \cdot To^4 \cdot (t-To)^2) \quad To < t \leq 2To$$

$$\theta^{(5)}_{lref}(t) = \alpha \cdot (336t^5 - 1680 \cdot To \cdot t^4 + 2880 \cdot To^2 \cdot t^3 - 1920 \cdot To^3 \cdot t^2 + 384 \cdot To^4 \cdot t) \quad 0 \leq t \leq To$$

$$\theta^{(5)}_{lref}(t) = \alpha \cdot (336(t-To)^5 - 1680 \cdot To \cdot (t-To)^4 + 2880 \cdot To^2 \cdot (t-To)^3 - 1920 \cdot To^3 \cdot (t-To)^2 + 384 \cdot To^4 \cdot (t-To)) \quad To < t \leq 2To$$

【0010】これらの各要素を数2に代入して、位置指令  $\theta_{mref}$  を算出し、この  $\theta_{mref}$  を図1に示す位置決め制御系に入力したときの位置出力  $\theta_1$  を図4に示す。比較のために図5に示したような従来の三角波状の速度指令に対応した位置位置指令  $\theta_{mref}$  を図1の制御系に入力したときの位置出力  $\theta_1$  を図7に、図10に示すフィードフォワード制御を用いた制御系に入力したときの位置出力  $\theta_1$  を図9に示す。図4、図7、図9からわかるように、本発明によって、時間遅れが少なく、振動も抑えられた応答を得ることが可能となる。さらに、位置指令応答と所望の位置軌跡とのずれが少ないため産業用ロボットや工作機械等、多軸で位置制御を行う場合において、負荷軸側の軌跡の精度も向上する。

【0011】

【発明の効果】上述したように、本発明によれば、制御系の出力  $\theta_1$  から位置指令  $\theta_{mref}$  への関係を表す逆伝達関数の分母多項式が定数の場合、各軸の負荷軸先端の参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出するために、指令生成部において参照位置関数  $\theta_{lref}$  を前記逆伝達関数の分子多項式の次数より少なくとも一次は高次で、かつ位置指令  $\theta_{mref}$  を構成する前記参照位置関数  $\theta_{lref}$  とその導関数が定数項を持たないように設定し、逆伝達関数の分母多項式が1

次以上の多項式の場合、各軸の負荷軸先端の参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出するために、指令生成部において前記参照位置関数  $\theta_{lref}$  を逆伝達関数の分子多項式の次数より少なくとも1次は高次に設定し、逆伝達関数の分母多項式に相当する伝達関数のフィルタを設けることにより、参照位置関数  $\theta_{lref}$  と制御系の出力  $\theta_1$  が一致するような位置指令  $\theta_{mref}$  を算出することができる。その結果として位置指令応答と所望の位置軌跡とのずれが少なくなるため、位置決め制御系における位置精度の向上を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】1軸分のリンクの位置決め制御系を例示するブロック図である。

【図2】8次多項式で表した参照加速度軌跡を表すタイムチャートである。

【図3】図2に関連する参照速度軌跡を表すタイムチャートである。

【図4】本発明における位置指令と参照位置出力と位置出力を表すタイムチャートである。

【図5】一定速度区間のない三角状の速度指令のタイムチャートである。

【図6】従来の制御における加速度応答の追従遅れを示

(5)

7

すタイムチャートである。

【図7】従来の位置指令と位置出力を表すタイムチャートである。

【図8】フィードフォワード制御を用いた加速度指令に対する加速度応答を表すタイムチャートである。

【図9】フィードフォワード制御を用いた位置指令に対する位置指令応答を表すタイムチャートである。

【図10】フィードフォワード制御を用いた位置決め制御系を例示するブロック図である。

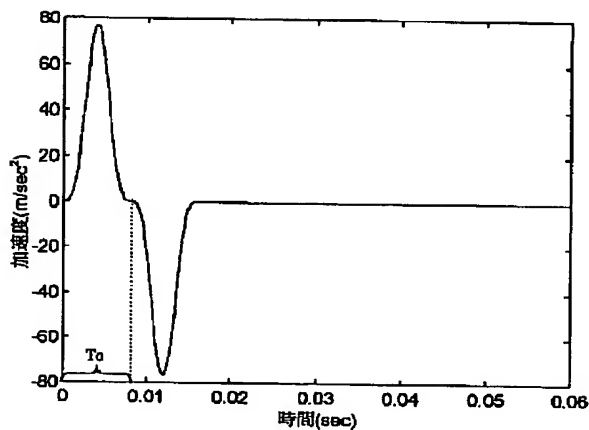
【符号の説明】

8

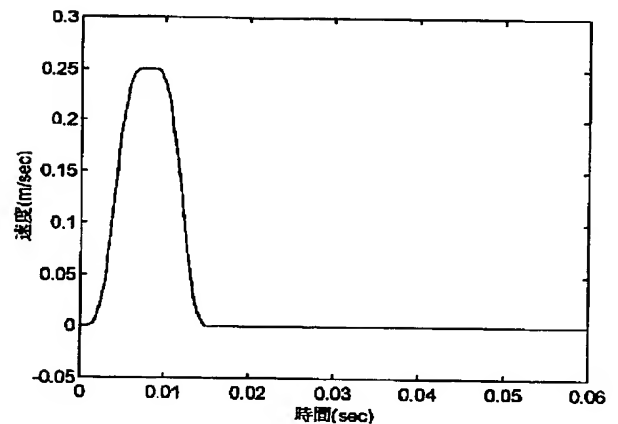
1 指令生成部、2 位置制御部、3 速度制御部、4 モータ部、5 機構部、6 フィルタ、 $J_m$  モータの慣性モーメント、 $D_m$  モータ粘性係数、 $D_c$  減速機粘性係数、 $K_c$  減速機バネ定数、 $N$  減速比、 $J_l$  負荷側慣性モーメント、 $D_l$  負荷側粘性係数、 $K_p$  位置比例ゲイン、 $K_v$  速度比例ゲイン、 $K_i$  積分ゲイン、 $K_t$  トルク定数、 $\theta_m$  サーボモータの位置出力、 $\theta_s$  ねじり角、 $\theta_{mref}$  位置指令、 $\theta_l$  位置出力、 $u_{ref}$  操作用入力量

10

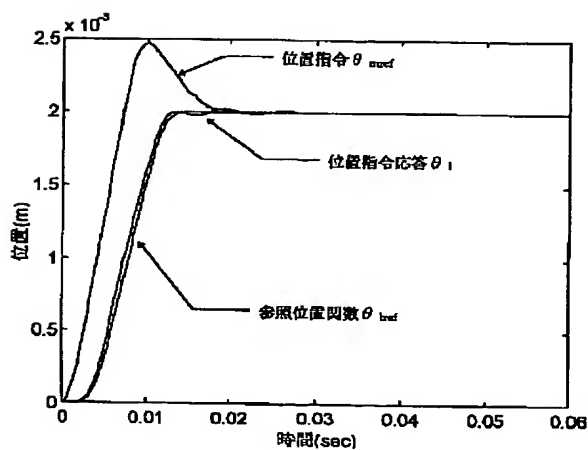
【図2】



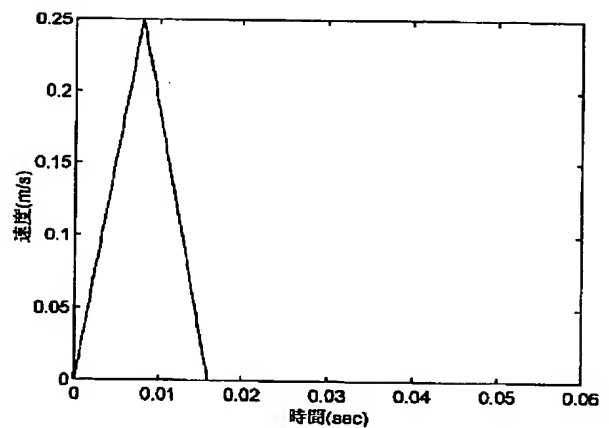
【図3】



【図4】

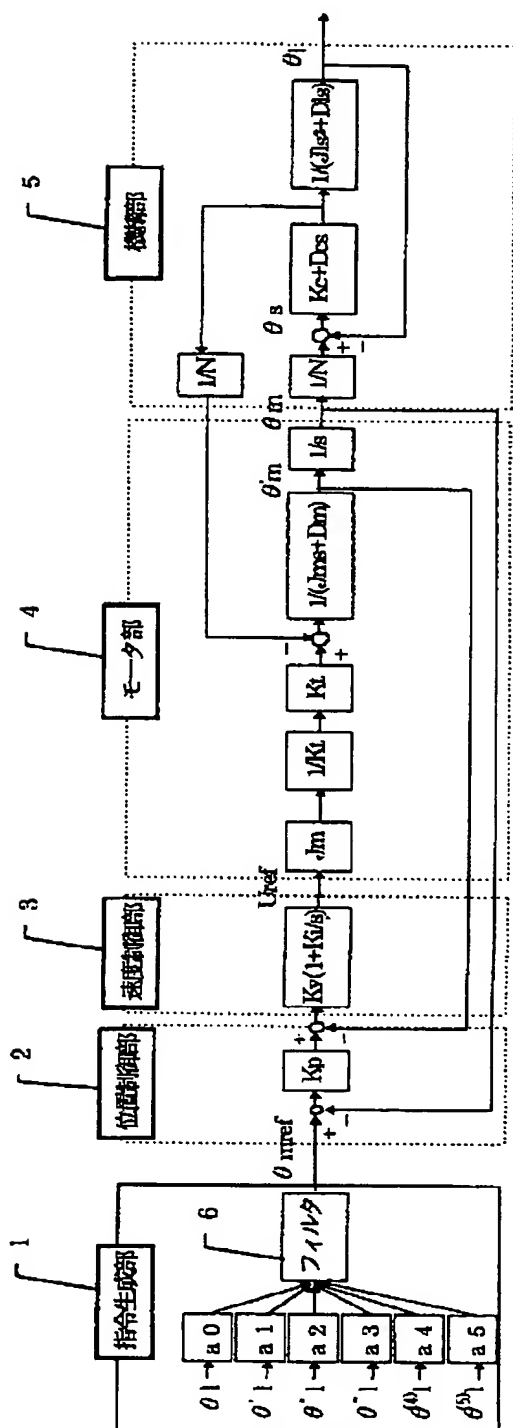


【図5】

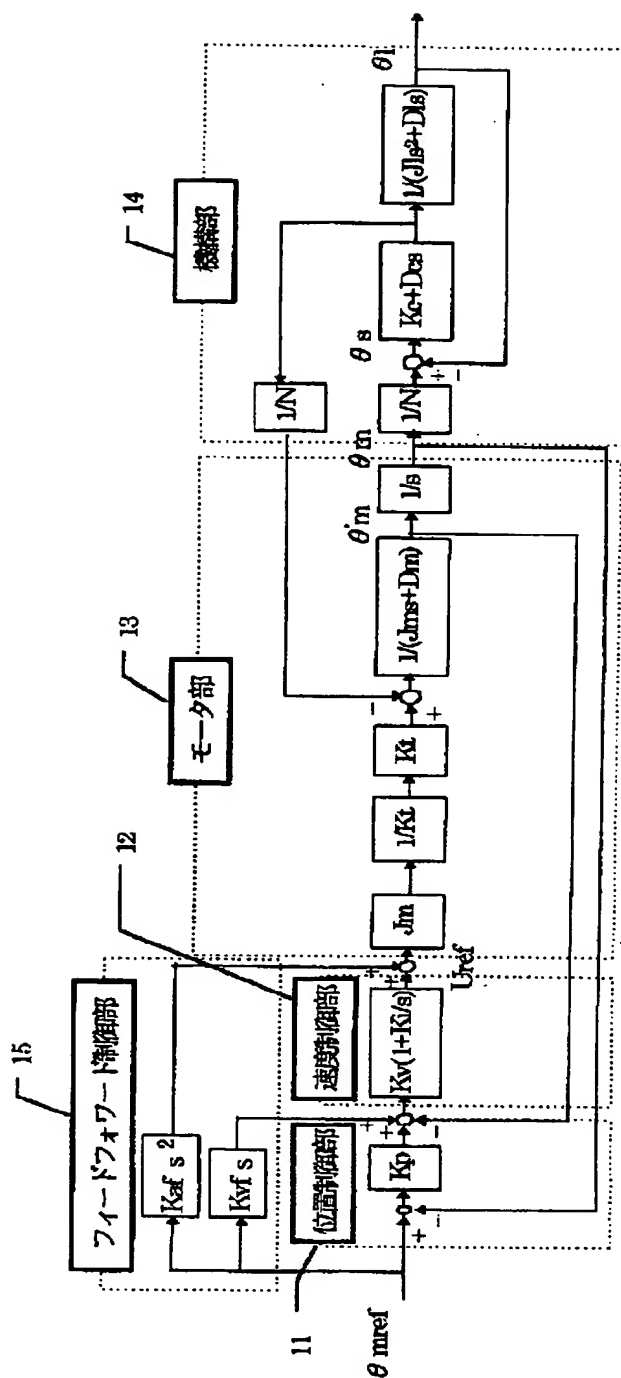


(6)

【図 1】

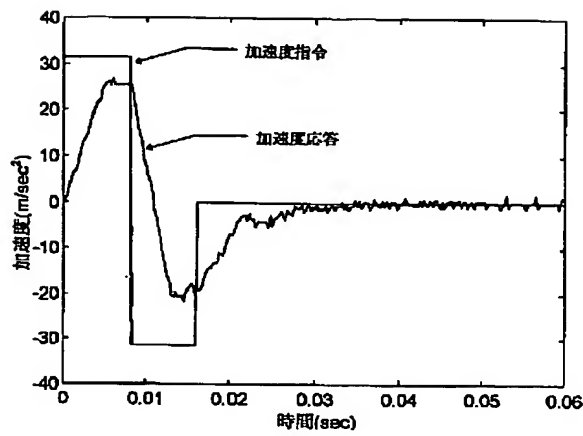


【図 10】

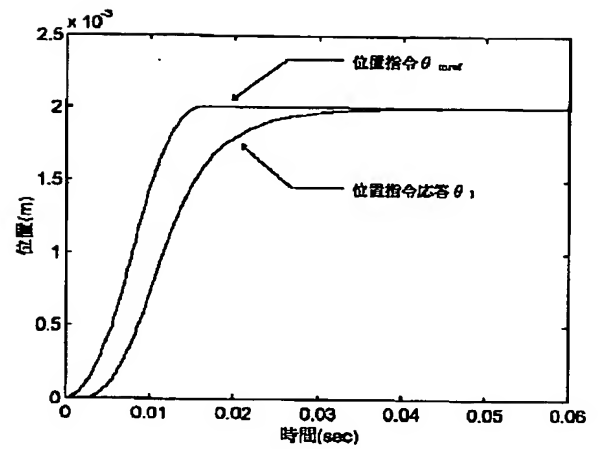


(7)

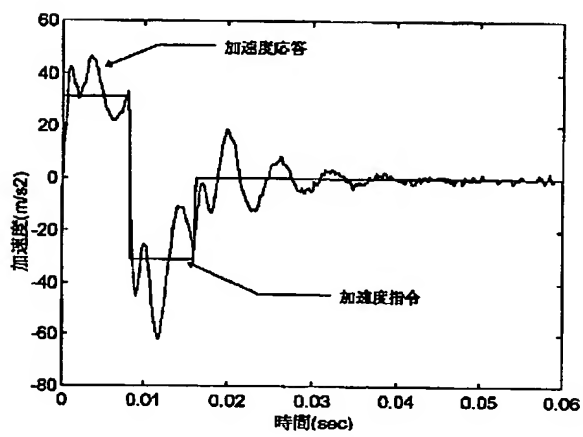
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

